

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Patent Application of:

Jong-Yoon KIM et al.

Application No.: To be assigned

Group Art Unit: To be assigned

Filed: December 12, 2003

Examiner: To be assigned

For: METHODS OF OPTIMIZING RECORDING CURRENT AND SETTING RECORDING
DENSITY OF HARD DISK DRIVE

**SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF PRIOR FOREIGN
APPLICATION IN ACCORDANCE
WITH THE REQUIREMENTS OF 37 C.F.R. § 1.55**

Commissioner for Patents
PO Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

In accordance with the provisions of 37 C.F.R. § 1.55, the applicant(s) submit(s) herewith
a certified copy of the following foreign application:

Korean Patent Application No(s). 2002-79750

Filed: December 13, 2002

It is respectfully requested that the applicant(s) be given the benefit of the foreign filing
date(s) as evidenced by the certified papers attached hereto, in accordance with the
requirements of 35 U.S.C. § 119.

Respectfully submitted,
STAAS & HALSEY LLP

Date: 12/12/03

By: 

Michael D. Stein
Registration No. 37,240

1201 New York Ave, N.W., Suite 700
Washington, D.C. 20005
Telephone: (202) 434-1500
Facsimile: (202) 434-1501



별첨 사본은 아래 출원의 원본과 동일함을 증명함.

This is to certify that the following application annexed hereto is a true copy from the records of the Korean Intellectual Property Office.

출원번호 : 10-2002-0079750
Application Number PATENT-2002-0079750

출원년월일 : 2002년 12월 13일
Date of Application DEC 13, 2002

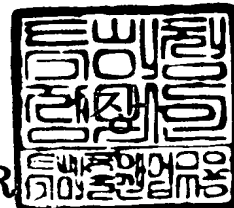
출원인 : 삼성전자 주식회사
Applicant(s) SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.



2003 년 01 월 23 일

특 허 청

COMMISSIONER



【서지사항】

【서류명】	특허출원서
【권리구분】	특허
【수신처】	특허청장
【참조번호】	0027
【제출일자】	2002.12.13
【국제특허분류】	G11B
【발명의 명칭】	하드디스크 드라이브의 기록 전류 최적화 방법 및 기록 밀도 설정 방법
【발명의 영문명칭】	Method for optimizing a write current and a method for setting a recording density of hard disc drive
【출원인】	
【명칭】	삼성전자 주식회사
【출원인코드】	1-1998-104271-3
【대리인】	
【성명】	이영필
【대리인코드】	9-1998-000334-6
【포괄위임등록번호】	1999-009556-9
【대리인】	
【성명】	이해영
【대리인코드】	9-1999-000227-4
【포괄위임등록번호】	2000-002816-9
【발명자】	
【성명의 국문표기】	김종윤
【성명의 영문표기】	KIM, Jong Yoon
【주민등록번호】	690520-1002516
【우편번호】	449-906
【주소】	경기도 용인시 기흥읍 서천리 서그내마을 SK아파트 101동 1401호
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	여창동
【성명의 영문표기】	YE0, Chang Dong
【주민등록번호】	730715-1110414

【우편번호】	449-845
【주소】	경기도 용인시 수지읍 죽전리 1110 대지마을 현대홈타운2 차아파트 20 3동 604호
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	송승현
【성명의 영문표기】	SONG, Seung Hyun
【주민등록번호】	710101-1543929
【우편번호】	133-766
【주소】	서울특별시 성동구 옥수2동 극동아파트 8동 1305호
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	김근수
【성명의 영문표기】	KIM, Geun Soo
【주민등록번호】	740624-1222427
【우편번호】	139-200
【주소】	서울특별시 노원구 상계동 746-5 주공아파트 202동 701호
【국적】	KR
【심사청구】	청구
【취지】	특허법 제42조의 규정에 의한 출원, 특허법 제60조의 규정 에 의한 출원심사를 청구합니다. 대리인 이영필 (인) 대리인 이해영 (인)
【수수료】	
【기본출원료】	20 면 29,000 원
【가산출원료】	14 면 14,000 원
【우선권주장료】	0 건 0 원
【심사청구료】	16 항 621,000 원
【합계】	664,000 원
【첨부서류】	1. 요약서·명세서(도면)_1통

【요약서】**【요약】**

본 발명은 하드디스크 드라이브에 관한 것으로서 특히 하드디스크 드라이브의 사용 온도에 따라 기록 전류를 최적화하는 방법 및 ATE(Adjacent Track Erasure) 특성을 고려하여 TPI 혹은 기록 용량을 설정하는 방법에 관한 것이다.

본 발명에 따른 기록 전류 최적화 방법은 하드디스크 드라이브의 동작 온도에 상당하는 테스트 조건 하에서 기록 파라미터를 변화시켜 가면서 에러율을 조사하는 과정; 가장 낮은 에러율을 보이는 기록 파라미터를 선택하는 과정; 및 사용자 환경에서 상기 선택된 기록 파라미터를 사용하여 하드디스크 드라이브의 기록 전류를 최적화하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 한다.

본 발명에 따른 기록 전류 최적화 방법은 헤드마다의 상이한 기록성 및 ATE 특성을 갖는 현 상황에서, 각 개별 헤드마다의 기록성 및 ATE 특성을 측정하여 시스템 실린더나 버퍼에 저장하고, 실제 사용자 환경에서는 ATE 특성을 고려하여 헤드의 기록성능을 보장하는 한도에서의 최소 WC 및 OSC를 사용하며, 저온에서는 최저의 BER을 갖는 높은 WC 및 OSC를 사용함으로써 헤드의 기록 성능을 보장한다.

【대표도】

도 11

【명세서】**【발명의 명칭】**

하드디스크 드라이브의 기록 전류 최적화 방법 및 기록 밀도 설정 방법{Method for optimizing a write current and a method for setting a recording density of hard disc drive}

【도면의 간단한 설명】

도 1은 하드디스크 드라이브(100)를 도시한 것이다.

도 2는 도 1에 도시된 전자 회로(120)의 상세한 구성을 보이는 블록도이다.

도 3은 종래의 기록 전류 최적화 방법을 보이는 흐름도이다.

도 4는 종래의 기록 전류 최적화 방법의 다른 예를 보이는 것이다.

도 5a 및 도 5b는 TPTP에 의한 영향을 도식적으로 보이기 위한 것이다.

도 6은 기록 전류의 파형을 보이는 파형도이다.

도 7은 기록 전류의 오버슈트 값의 변화에 따른 TPTP의 변화 정도를 나타내는 그래프의 예이다.

도 8은 OSC와 BER의 관계를 보이는 그래프의 일 예이다.

도 9는 OSC와 CSM의 관계를 보이는 그래프의 일 예이다.

도 10은 여러 가지의 헤드들의 TPTP 특성들을 보이는 그래프이다.

도 11은 본 발명에 따른 기록 전류 최적화 방법을 보이는 흐름도이다.

도 12는 TPTP 특성의 다른 예를 보이는 그래프이다.

도 13은 본 발명에 따른 기록 밀도 설정 방법을 보이는 흐름도이다.

【발명의 상세한 설명】**【발명의 목적】****【발명이 속하는 기술분야 및 그 분야의 종래기술】**

- <14> 본 발명은 하드디스크 드라이브에 관한 것으로서 특히 하드디스크 드라이브의 사용 온도에 따라 기록 전류를 최적화하는 방법 및 ATE(Adjacent Track Erasure) 특성을 고려하여 TPI 혹은 기록 용량을 설정하는 방법에 관한 것이다.
- <15> 하드디스크 드라이브는 정보 저장을 위해 사용되는 기록 장치이다. 통상적으로 정보는 한 개 이상의 자기 기록 디스크들의 어느 한 면 위에 있는 동심 트랙들 위에 기록된다. 디스크는 스피ن 모터에 회전 가능하게 탑재되고, 정보는 보이스(voice) 코일 모터에 의해 회전되는 액추에이터(actuator) 암에 탑재된 판독/기록 수단에 의해 액세스된다. 보이스 코일 모터는 전류에 의해 여자되어 액추에이터를 회전시키고 헤드를 이동시킨다. 판독/기록 헤드는 디스크의 표면으로부터 나오는 자기의 변화를 감지하여 디스크 표면에 기록된 정보를 판독한다. 데이터 트랙에 기록하기 위해, 전류가 헤드로 공급된다. 전류는 자계를 발생시키고, 이것은 디스크 표면을 자화시킨다.
- <16> 헤드/디스크 거리를 줄임으로써 기록 밀도가 증가될 수 있다. 이것은 헤드의 크기를 줄이고, 헤드를 가능한 한 디스크에 가깝게 위치시키는 것이다. 그러나, 자기 기록 헤드의 물리적 크기가 적어지면, 그 헤드에 제공되는 기록 전류의량이 인접하는 트랙에 위치한 데이터를 소거하는 결과를 초래할 수 있다. 이러한 현상을 ATE 라고 한다. ATE는 헤드에 제공되는 기록 전류가 너무 높을 때 중요한 문제가 된다. 한편, 기록 전류가 충분하지 않으면, 특히 저온 환경에 있어서 기록 성능이 조악해지게 된다.

- <17> 한편, 하드디스크 드라이브가 고용량/고밀도화해 감에 따라 더욱 작은 TPI를 요구하게 되고, 이에 따라 자기 헤드의 기록폭 제어 및 잡음 개선을 위해 더욱 개선된 기록 성능이 요구된다.
- <18> 이에 대응하기 위하여 종래의 기록 전류 최적화 방법에 따르면 하드디스크 드라이브의 번인 테스트 공정에서 헤드의 ATE 특성을 조사하여 최적의 기록 전류를 설정하도록 하고 있다.
- <19> 인접트랙으로의 오버라이트(over write)되는 ATE(adjacent track erase) 효과를 줄이기 위해서 하드디스크 드라이브내의 ARCO(adaptive read channel optimization, 적응적 리드 채널 최적화)을 통해서 데이터 준별 또는 온도별로 기록전류를 억제하는 것이 일반적이다.
- <20> 보통 제조공정에서 수백, 또는 수천의 인접트랙 기록(Adjacent Track Writing; ATW)을 통해서 ATE를 발생하는 헤드들을 걸러낸다. 일반적으로 하드디스크드라이브를 제조할 때 서보라이트 → 기능테스트 → 번-인 테스트 등의 공정을 거치게 된다. 서보라이트 공정에서는 디스크에 위치정보를 기록하게 되며, 기능테스트 공정에서는 메인티넌스 실린더의 디펙트 여부와 데이터 영역의 리드/라이트 가능여부를 판단한다. 그리고 번-인 테스트 공정에서는 데이터 영역의 디펙트 여부를 판단한다. 번-인 테스트공정에서는 하드디스크드라이브의 리드채널을 최적화하기 위한 리드채널최적화 과정 및 기록 채널을 최적화하기 위한 기록 채널 최적화 과정도 수행된다. 최적화 방법은 하드디스크 드라이브의 컨트롤러에 의해 수행된다.

- <21> 한편, 헤드의 ATE특성은 고온에서는 미디어의 보자력(Coercivity) 감소 및 비행 높이(Flying Height; FH)의 감소로 인하여 나빠지며, 저온에서는 미디어의 보자력 증가로 인하여 나빠진다.
- <22> 이에 대응하기 위하여 최근의 하드디스크 드라이브는 드라이브의 온도 측정을 통하여 기록 전류(Write Current; WC)나 오버 슈트 전류(Over Shoot Current; OSC)를 제어하는 방법이 사용된다.
- <23> 즉, 저온에서는 높은 WC 및 OSC를 사용하여 보자력 증가에 대응하고, 고온에서는 낮은 WC 및 OSC를 사용하여 보자력 감소에 대응하도록 하고 있다.
- <24> 그렇지만, 종래의 기록 전류 최적화 방법에 의하면 번인 테스트 공정에서 상온에서 최적의 기록 전류를 얻도록 최적화한 후 사용자 환경 즉, 고온 모드 및 저온 모드에서는 일률적으로 기록 전류를 일정량만큼 가감하도록 하고 있다.
- <25> 이러한 방법은 헤드의 특성을 고려하지 않고 수행되는 것이기 때문에 어떤 헤드에 있어서는 기록 전류가 과다하거나 작아서 오히려 특성을 악화시키게 된다.
- <26> 특히, OSC에 영향 받는 TPTP 특성을 고려하고 있지 않기 때문에 TPTP가 심한 헤드의 경우에는 WC 및 OSC가 너무 과다하거나 부족하여 HDI(Head Disc Interface)상에서 문제를 발생시켜 헤드 손상, TA(Thermal Asperity), 기압 마진(Altitude margin; 기압에 따른 FH의 변화에 따른 마진)의 격감 등과 같은 불량을 야기할 가능성이 매우 높다.
- 【발명이 이루고자 하는 기술적 과제】**
- <27> 본 발명은 상기의 문제점을 해결하기 위하여 고안된 것으로서 각 헤드마다의 기록 특성 및 ATE 특성을 측정하여 시스템 실린더나 버퍼에 저장하고, 고온 모드에서는 헤드

의 기록 성능을 보장하는 한에서의 최소 WC 및 OSC를 사용하고, 저온 모드에서는 최적의 BER(Bit Error Rate)를 보장하는 높은 WC 및 OSC를 사용하도록 하는 기록 전류 제어 방법을 제공하는 것을 그 목적으로 한다.

<28> 본 발명의 다른 목적은 저온에서 높은 WC 및 OSC를 사용함에 있어 문제가 발생할 수 있는 헤드의 경우에는 미리 이를 검출하여 TPI를 조절하여 하드디스크 드라이브의 전체 용량을 줄이는 기록 밀도 설정 방법을 제공하는 것에 있다.

【발명의 구성 및 작용】

<29> 상기의 목적을 달성하는 본 발명에 따른 기록 전류 최적화 방법은

<30> 하드디스크 드라이브의 동작 온도에 상당하는 테스트 조건 하에서 기록 파라미터를 변화시켜 가면서 에러율을 조사하는 과정;

<31> 가장 낮은 에러율을 보이는 기록 파라미터를 선택하는 과정; 및

<32> 사용자 환경에서 상기 선택된 기록 파라미터를 사용하여 하드디스크 드라이브의 기록 전류를 최적화하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 한다.

<33> 여기서, 저온에 상당하는 테스트 조건은 목표 트랙에 소정 횟수만큼 데이터를 기록하고, 목표 트랙을 소정 횟수만큼 읽는 것이고,

<34> 상온에 상당하는 테스트 조건은 목표 트랙에 인접한 트랙들에 소정 횟수(N)만큼 데이터를 기록하고, 목표 트랙을 소정 횟수만큼 읽는 것이며,

<35> 고온에 상당하는 테스트 조건은 목표 트랙에 인접한 트랙들에 소정 횟수(M, 여기서, $M > N$)만큼 데이터를 기록하고, 목표 트랙을 소정 횟수만큼 읽는 것임이 바람직하다.

- <36> 상기의 다른 목적을 달성하는 기록 밀도 최적화 방법은
- <37> 소정의 ATE 테스트 조건에서 목표 트랙의 에러 개수를 측정하는 과정;
- <38> 상기 에러 개수를 소정의 문턱값과 비교하는 과정; 및
- <39> 상기 에러 개수가 소정의 문턱값을 넘는 경우에는 TPI 혹은 기록 밀도를 낮게 조정하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 한다.
- <40> 여기서, 테스트 조건은 오버 슈트 전류를 최대값으로 설정하는 것임이 바람직하다.
- <41> 또한, 테스트 조건은 목표트랙에 인접한 트랙들에 소정 횟수만큼 데이터를 기록한 후에 목표 트랙을 소정 횟수만큼 읽을 때의 에러 개수를 측정하는 것이며, 또한, 목표 트랙에 인접한 트랙들은 적어도 일측 인접 방향으로 3개 이상인 것이 바람직하다.
- <42> 또한, 에러 개수는 ECC(Error Correction Code)의 에러 정정 능력을 낮춘 상태에서 측정되는 것임이 바람직하다.
- <43> 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 구성 및 동작을 상세히 설명하기로 한다.
- <44> 도 1은 하드디스크 드라이브(100)를 도시한 것이다. 디스크 드라이브(100)는 스피ن 모터(104)에 의해 회전되는 디스크(102)를 포함한다. 스피ن 모터(104)는 베이스 플레이트(106)에 탑재된다. 액추에이터 암 어셈블리(108) 역시 베이스 플레이트(106)에 탑재된다. 액추에이터 암 어셈블리(108)는 각각 상응하는 서스펜션들(112)에 장착된 다수의 헤드들(110)을 포함한다. 서스펜션들(112)은 베어링 어셈블리(116) 주변에서 회전할 수 있는 액추에이터 암(114)에 부착된다. 어셈블리(108)는 또 베이스 플레이트(106)에 탑재된 자석과 결합되는 보이스 코일(118)을 포함한다. 보이스 코일(118)에 에너지

를 가하여 디스크(102)에 대해 헤드들(110)을 이동시킨다. 일반적으로 각 디스크 면마다 하나의 헤드가 존재한다. 스핀 모터(104), 보이스 코일(118) 및 헤드들(110)은 인쇄 회로 보드(122)에 탑재된 다수의 전자 회로(120)와 연결된다. 전자 회로(120)는 보통 판독 채널 회로, 마이크로프로세서 기반의 제어기 및 랜덤 액세스 메모리(RAM) 장치를 포함한다.

<45> 도 2는 도 1에 도시된 전자 회로(120)의 상세한 구성을 보이는 블록도이다. 전자 회로(120)는 판독/기록(R/W) 채널 회로(174)에 연결된 전치 증폭기(172)를 포함한다. R/W 채널 회로(174)는 R/W 자동 이득 제어(AGC), 필터 회로(176), 전파 정류기(178) 및 피크 검출기(180)를 포함한다. 전자 회로(120)는 마이크로프로세서 기반의 서보 제어기(182)를 더 포함하며, 서보 제어기(182)는 아날로그-디지털 변환기(ADC)(184), 디지털 신호 처리기(DSP)(186), 버스트 시퀀서 및 타이밍 회로(188)와 랜덤 액세스 메모리(RAM) 장치와 같은 메모리(190)를 구비한다. DSP(186)는 로직 회로(192)를 포함한다.

<46> 전자 회로(120)는 자기 디스크(102)의 자계를 감지하는 자기 헤드들(110) 가운데 하나와 결합된다. 디스크(102) 위의 서보 필드 영역(10)에 위치한 서보 정보를 읽을 때, 헤드(110)는 디스크의 자계에 상응하는 판독 신호를 생성한다. 판독 신호는 먼저 전치 증폭기(172)에 의해 증폭되고, 그리고 나서 R/W 채널 회로(174)로 보내진다. 판독 신호에 포함된 AGC 데이터는 R/W AGC 및 필터 회로(176)로 보내진다. R/W AGC 및 필터 회로(176)안에서 R/W AGC 회로(176)는 판독 신호에 의해 제공된 AGC 데이터를 모니터링하고 그리고 나서 판독 신호가 R/W AGC 및 필터 회로(176)의 필터에서 필터링된다. 전파 정류기(178)는 판독 신호를 정류하고 정류된 판독 신호를 피크 검출기(180)로 보낸다. 피크 검출기(180)는 판독 신호의 진폭을 검출한다. 그리고 나서 판독 신호는

아날로그 판독 신호의 이치화된 샘플들을 제공하는 ADC(184)로 공급된다. 그리고 이치화된 신호는 DSP(186)안에 위치한 로직 회로(192)로 제공된다. 로직 회로(192)는 헤드(110)에 의해 읽혀진 서보 비트들인 A, B, C 및 D에 기반해 위치 신호 Q를 생성한다. 그에 따른 위치 신호 Q는 메모리(190)에 저장되고 이후에 액추에이터 암 어셈블리(108)로 제공되어져 헤드(110)를 이동시키게 할 것이다. 이와 다르게, 위치 신호 Q가 액추에이터 암 어셈블리(108)로 직접 제공되어져 헤드(110)를 이동시키도록 할 수 있다.

- <47> 도 3은 종래의 기록 전류 최적화 방법을 보이는 흐름도이다. 종래의 기록 전류 최적화 방법은 WC 또는 OSC를 바꾸어 가면서 ATE를 측정하고, 측정된 ATE가 최소가 되는 WC 또는 OSC를 선택하는 것을 특징으로 한다.
- <48> 먼저, 기록 채널 파라미터들이 초기화된다(S302). 즉, WC 및 OSC 등을 초기화하며, 초기화에 사용되는 값들은 번인 테스트 공정에서 설정된 값들이다.
- <49> 목표 트랙 N을 선택한다.(S304)
- <50> 트랙 N-5부터 트랙 N+5 위에 데이터를 한 번 기록한다.(S306).
- <51> 목표 트랙 N에 인접한 트랙들 N-1 및 N+1 위에 소정 횟수 Y 만큼 기록을 수행한다(S308).
- <52> 트랙 N-5부터 N+5까지에 기록된 데이터를 소정 횟수만큼 읽는다.(S310)
- <53> 각 트랙의 에러 개수를 계수한다.(S312)
- <54> 각 에러의 개수가 소정 기준보다 큰 지를 판단한다(S314).

- <55> 에러들의 개수가 기준보다 크면, WC 혹은 OSC를 한 단계 감소시킨 후에 S306과정으로 복귀한다.(S316) S304 내지 S316과정을 에러들의 개수가 소정 기준보다 적어질 때까지 반복한다.
- <56> S314과정에서 에러수가 기준보다 크지 않으면 기록 채널 파라미터들을 선택된 WC 또는 OSC 값에 따라 재설정하고 종료한다.(S318)
- <57> 도 3에 도시된 과정은 데이터 준을 바꾸어 가면서 반복될 수 있고, 그에 따른 각 영역의 기록 파라미터는 최적의 WC 및 OSC를 토대로 결정될 수 있다. 이 정보는 시스템 실린더에 저장되어 사용자 환경에서 기록 채널을 최적화하는데 사용된다.
- <58> 도 4는 종래의 기록 전류 최적화 방법의 다른 예를 보이는 것으로서 본 출원인에 의해 출원된 특허출원번호 02-57325(2002.09.19)에 개시된 것이다. 도 4에 도시된 방법은 온도 조건을 고려하여 기록 전류를 제어하는 방법을 보이는 것이다.
- <59> 하드디스크 드라이브(100)가 호스트컴퓨터로부터 기록(write) 명령을 수신(410단계)하면, 온도센서(미도시)는 하드디스크 드라이브(100)의 온도를 감지한다(420단계).
- <60> 온도센서로부터 전달받은 측정된 온도(T)가 임계온도(Tth)를 초과하는 지를 판별한다(430단계).
- <61> 430단계에서 측정된 온도(T)가 임계온도(Tth)를 초과하는 경우에 WC의 크기를 일정량만큼 줄인다.(440단계). 430단계에서, 임계온도이하이면 WC는 초기에 설정된 값으로 설정된다.

- <62> 또한 OSC도 TPTP에 영향을 주기 때문에 OSC가 임계 오버슈트값(OSth)을 초과하는지를 판별한다(450단계). 여기서, 임계 오버슈트값은 각 온도별 또는 기록전류의 정상 상태값에 따라서 실험적으로 구한 값으로 정의한다.
- <63> 450단계에서 오버슈트값이 임계 오버슈트값을 초과하는 경우에는 OSC를 일정량만큼 줄이도록 조절한다.
- <64> 기록전류의 오버슈트를 조절하는 다양한 전류 제동 회로가 공지되어 있는데, 제동 저항을 기록헤드에 병렬로 연결하여 그 제동저항을 제어함으로써 OSC를 제어할 수 있다.
- <65> 현재 하드디스크 드라이브에서는 기록용 자기 헤드는 금속(일반적으로 permalloy; Ni 80%/Fe 20%)을 사용하고 헤드를 지지하는 슬라이더(slidebar)는 비금속 물질을 사용하고 있다.
- <66> 따라서 기록 동작에서 기록 전류가 금속 코일을 통하여 흐르게 되며, 주울 열이 발생한다. 그런데, 금속/비금속간의 열팽창 계수의 차이로 인하여 폴(pole) 주변 부위가 돌출하게 되는데 이러한 현상을 TPTP라고 부른다.
- <67> 이러한 TPTP에 의해 헤드와 디스크간의 인터페이스(Head/Disk Interface, 헤드와 디스크 사이의 간격, 이하 HDI라 함) 마진이 줄어들게 되기 때문에 헤드의 비행 높이(Flying Height)를 낮추는 효과를 내며, 따라서 과도한 TPTP는 HDI상에 문제를 야기하며 심한 경우에는 Head와 Disk의 부딪침이 발생하여 Head Pole Damage(헤드 폴의 손상), TA(Thermal Asperity) 등의 원인이 되기도 한다.
- <68> 도 5a 및 도 5b는 TPTP에 의한 영향을 도식적으로 보이기 위한 것이다. 도 5a에 도시된 것은 재생 동작을 수행할 때의 상태를 보이는 것이고, 도 5b는 기록 동작을 수행할

때의 상태를 보이는 것이다. 도 5b를 참조하면 기록 폴이 돌출 되어져 있는 것을 알 수 있다. 이러한 기록 폴의 돌출은 실질적으로 FH를 낮추게 하며, 심한 경우에는 Head와 Disk의 부딪침이 발생하여 Head Pole Damage(헤드 폴의 손상), TA(Thermal Asperity) 등의 원인이 되기도 한다.

<69> 이러한 TPTP의 양은 i^2R 에 비례한다. 여기서 i 는 기록 전류를 나타내고, R 은 기록 코일의 저항을 나타낸다.

<70> 도 6은 기록 전류의 파형을 보이는 파형도이다. 도 6에 도시된 바와 같이 디스크에 기록된 데이터의 전환점에서 기록 전류는 날카로운 기립 형상을 보인다. 도 6에 있어서 기록 전류의 dc성분을 기록 전류(Writing Current; WC)라 하고, 기립 성분을 오버슈트전류(Over Shoot Current; OSC)라 한다.

<71> WC는 자계의 세기를 보자력 근처에 유지시키는 역할을 하며, OSC는 기록 위치에서 자계의 세기를 보자력 이상으로 끌어올리는 트리거(trigger)로서의 역할을 하게 된다.

<72> 도 7은 기록 전류의 오버슈트 값의 변화에 따른 TPTP의 변화 정도를 나타내는 그래프의 예로써, 기록 전류의 오버슈트 값이 0(a), 1(b), 5(c), 10(d), 15(e), 20(f), 25(g) 및 30(h)인 경우에 TPTP의 크기를 [nm]단위로 나타내고 있다.

<73> 기록 전류의 오버슈트 값을 변화시키면서 TPTP의 프로파일을 측정하면, 기록 전류의 오버슈트 값이 커질수록 TPTP의 영향이 커진다. 그러므로, 기록 전류의 오버슈트 값이 커질수록 헤드와 디스크간의 접촉에 미치는 영향은 커진다는 것을 알 수 있다. 또한, 실험에 의하면 기록 전류의 오버슈트 값이 4스텝 변화함에 따라 TPTP는 10Å 정도 발생하며, 통상 FH가 100Å 정도인 것을 감안하면 기록 전류의 오버슈트 값의 4스텝 변화에 대

해 약 10%정도 FH가 감소하는 것이며, TPTP가 하드디스크 드라이브의 성능에 상당한 영향을 줄 수 있음을 알 수 있다.

- <74> 도 8은 OSC와 BER의 관계를 보이는 그래프의 일 예이다.
- <75> 도 8을 참조하면 OSC에 대한 BER은 대략적으로 최저의 BER(BER_min)을 만족점으로 하는 V자형을 보인다. 이는 OSC가 낮으면 낮은 자계에 의해 BER이 나빠지고 OSC가 높으면 TPTP가 심해지기 때문에 BER이 나빠지는 것으로 해석된다.
- <76> 도 9는 OSC와 CSM(Channel Statistical Measurement; 채널 통계적 측정)의 관계를 보이는 그래프의 일 예이다. 도 9에 있어서도 도 8의 OSC vs BER과 유사한 관계가 보여짐을 알 수 있다.
- <77> BER은 헤드에 의하여 읽어낸 신호에 포함된 일정수의 데이터 비트들 중에서 몇 개의 오류 비트가 발생되었는지를 나타내는 비율이고, CSM은 채널 칩(channel chip)에서 제공하는 비트 에러를 측정하는 성능 검사 방법으로서 BER에 비해 측정 시간이 단축된다는 장점이 있다. 또한, BER과 CSM은 대략 로그(log)적인 관계를 가진다.
- <78> 그렇지만 TPTP는 헤드마다 다르게 나타난다. 즉, 헤드의 재질의 차이, 헤드와 슬라이더의 접착(bonding) 특성 등등에 의해 TPTP의 정도가 각각 다르게 발현된다.
- <79> 도 10은 여러 가지의 헤드들의 TPTP 특성들을 보이는 그래프이다. 도 10에 도시된 바와 같이 TPTP의 영향이 크게 나타나는 헤드가 있는가하면 작게 나타나는 헤드도 있음을 알 수 있다.

- <80> TPTP가 심한 헤드의 경우는 OSC를 증가시킴에 따라 BER이 급격히 증가하여 최적의 OSC와 최대 OSC사이의 차이가 큰 반면에 TPTP가 약한 헤드의 경우는 완만한 증가 혹은 감소를 나타내어 최적의 OSC와 최대 OSC사이의 차이가 크지 않다.
- <81> 한편, 이전의 기록 전류 제어 방법에 있어서는 단순히 헤드의 ATE(Adjacent Track Erasure) 특성을 고려하여 WC나 OSC를 최적화한다. 일반적으로 주어진 WC 및 OSC 조건에서 특정의 트랙의 양쪽 트랙들을 연속적으로 수회 반복하여 기록한 후 가운데 트랙을 읽었을 때 에러가 발생했는지를 판단하고, 에러가 발생하면 WC 및 OSC 조건을 변화시켜 가면서 상기의 기록 및 독출 동작을 반복하며, 에러가 발생하지 않는 WC 및 OSC를 최적의 WC 및 OSC로서 사용하게 된다.
- <82> 또한 하드디스크 드라이브가 저온에서 사용될 경우에는 자성체층의 보자력이 증가하므로 높은 보자력에 대응하도록 WC 및 OSC를 증가시키고, 고온에서 사용될 경우에는 자성체층의 보자력이 감소하므로 낮은 보자력에 대응하도록 WC 및 OSC를 감소시키는 방법이 사용되고 있다.
- <83> 그러나, 종래의 기록 전류 제어 방법은 각개 헤드의 TPTP 성능을 고려하지 않은 채로 고온/저온 모드에서 일률적으로 WC 및 OSC를 일정량만큼 감소/증가시킴에 따라 TPTP가 심한 헤드의 경우에는 WC 및 OSC가 너무 과다하거나 부족하여 HDI상에서 문제를 발생시켜 헤드 손상, TA, 기압 마진(Altitude margin; 기압에 따른 FH의 변화에 따른 마진)의 격감 등과 같은 불량을 야기할 가능성이 매우 높다.
- <84> 본 발명에서는 기록 전류를 설정함에 있어 각개 헤드의 TPTP 특성을 고려하도록 함으로써 최적의 기록 전류 제어를 실현한다.

- <85> 본 발명에 따른 기록 전류 제어 방법은 상온, 고온, 그리고 저온에 맞도록 테스트 조건을 설정하고, 각각의 테스트 조건에서 TPTP 특성을 검출하고, 검출된 TPTP 특성에서 가장 낮은 BER을 보이는 OSC의 값을 각 온도 모드에서 사용하도록 하는 것을 특징으로 한다.
- <86> 각각의 테스트 조건에서 TPTP 특성을 검출하기 위해 OSC를 변화시켜 가면서 기록 및 독출을 반복하여 OSC vs BER(혹은 CSM)을 측정한다. 또한, 각각의 스트레스 조건에서 가장 낮은 BER(혹은 CSM)을 보이는 OSC가 해당 온도 조건에서의 OSC로 설정된다.
- <87> 본 발명에 따른 기록 전류 제어 방법에 있어서 저온에 적합한 테스트 조건은 목표 트랙에 온트랙(on track)한 상태이고, 상온에 적합한 테스트 조건은 목표 트랙에 인접한 트랙들에 소정 횟수(N)만큼 데이터를 기록하는 것이며, 고온에 적합한 테스트 조건은 목표 트랙에 인접한 트랙들에 소정 횟수(M, 여기서, $M > N$)만큼 데이터를 기록하는 것이다.
- <88> 목표 트랙에 인접한 트랙들에 데이터를 기록하지 않거나 기록 횟수를 다르게 하는 것은 해당 온도에 따른 ATE의 변화에 상응하도록 하는 것이며, 각각의 조건에서 TPTP 특성을 조사하여 가장 낮은 BER을 보이는 OSC를 선택하는 것은 해당 온도에서의 TPTP 특성에 의한 영향을 가장 낮게 하는 것이다.
- <89> 따라서, 본 발명에 따른 기록 전류 최적화 방법은 ATE 특성 및 TPTP 특성을 고려하여 온도에 따라 최적화된 기록 전류를 설정할 수 있게 한다.
- <90> 도 11은 본 발명에 따른 기록 전류 최적화 방법을 보이는 흐름도이다.
- <91> 먼저, 목표 트랙에 온트랙한 상태에서 목표 트랙에서 가장 낮은 에러율을 보이는 OSC를 검출한다.(s1102)

- <92> 구체적으로 주어진 OSC 조건에서 목표 트랙에 소정 횟수 예를 들어 10회만큼 데이터를 기록한 후, 목표 트랙을 소정 횟수 예를 들어 600회만큼 읽어들이 에러율을 측정하는 과정을 OSC 조건을 바꾸어 가면서 반복하여 TPTP 특성을 검출한다.
- <93> 에러율은 BER 혹은 CSM으로 측정된다.
- <94> OSC는 통상 32스텝까지 제어될 수 있으나 안전을 위하여 28스텝까지 스위프(sweep)시킨다.
- <95> 구해진 TPTP 특성 즉, OSC vs BER(혹은 CSM)에서 최저의 BER(혹은 CSM)에 해당하는 OSC(OSC_1)을 선택한다. 이 OSC_1이 저온 조건에서 사용되는 OSC가 된다.
- <96> 다음으로, 목표 트랙에 인접한 트랙들에 소정 횟수(N) 예를 들어 100회만큼 데이터를 기록하는 상태에서 목표 트랙에서 가장 낮은 에러율을 보이는 OSC를 검출한다.(s1104)
- <97> 구체적으로 주어진 OSC 조건에서 목표 트랙에 인접한 트랙들에 100회만큼 데이터를 기록한 후, 목표 트랙을 소정 횟수(N) 예를 들어 600회만큼 읽어들이 에러율을 측정하는 과정을 OSC 조건을 바꾸어 가면서 반복하여 TPTP 특성을 검출한다.
- <98> 구해진 TPTP 특성 즉, OSC vs BER(혹은 CSM)에서 최저의 BER(혹은 CSM)에 해당하는 OSC(OSC_2)을 선택한다. 이 OSC_2가 상온 조건에서 사용되는 OSC가 된다.
- <99> 마지막으로 목표 트랙에 인접한 트랙들에 소정 횟수(M 여기서, $M > N$) 예를 들어 1000회만큼 데이터를 기록하는 상태에서 목표 트랙에서 가장 낮은 에러율을 보이는 OSC를 검출한다.(s1106)

- <100> 구체적으로 주어진 OSC 조건에서 목표 트랙에 인접한 트랙들에 1000회만큼 데이터를 기록한 후, 목표 트랙을 소정 횟수 예를 들어 600회만큼 읽어들어 에러율을 측정하는 과정을 OSC 조건을 바꾸어 가면서 반복하여 TPTP 특성을 검출한다.
- <101> 구해진 TPTP 특성 즉, OSC vs BER(혹은 CSM)에서 최저의 BER(혹은 CSM)에 해당하는 OSC(OSC_d)을 선택한다. 이 OSC_d가 고온 조건에서 사용되는 OSC가 된다.
- <102> 도 11에 도시된 과정은 헤드 및 데이터 존을 바꾸어 가면서 반복 수행된다.
- <103> 측정 결과로서 헤드별, 데이터 존별, 온도 조건별 기록 전류 설정 파라미터가 얻어진다. 얻어진 기록 전류 설정 파라미터들은 시스템 실린더 혹은 불휘발성 메모리에 저장되고 사용자 환경에서 적절한 값이 선택되어 사용된다.
- <104> 도 11에 도시된 각 과정에서 얻어진 TPTP 특성에서 가장 낮은 BER(혹은 CSM)을 선정하기 어려운 경우가 발생할 수 있다. 특히, CSM은 BER에 비해 작은 숫자이기 때문에 약간의 오차에 의해서도 상당한 기록 조건의 변화를 초래할 수 있다.
- <105> 도 12는 TPTP 특성의 다른 예를 보이는 그래프이다. 도 12에 도시된 바에 있어서 가장 낮은 BER에 상응하는 OSC들이 두 군데(OSC1, OSC2) 존재한다. 이 경우를 위하여 정규화하는 과정이 필요하다. 정규화를 위하여 두 OSC(OSC1, OSC2)들을 평균화하여 중간 값을 가지는 OSC(OSC_{mean})는 것이 가장 먼저 생각될 수 있으나 꼭 평균화에 의하는 것은 아니다.
- <106> 한편, CSM의 경우에는 정규화에 의해 얻어지는 OSC가 최소 CSM의 1.3배의 범위에서 선정되도록 제한하는 것이 바람직하다. 즉, 선정된 OSC에 상응하는 CSM이 최소 CSM의 1.3배가되는 범위 내에 있도록 제한한다.

- <107> 한편으로는 어떤 데이터 존에서 얻어진 OSC가 인접한 데이터 존들에서 얻어진 OSC 등에 비해 현저하게 차이를 보이는 경우에는 측정이 잘못 수행되었을 가능성이 높으므로 인접한 데이터 존들에서 얻어진 OSC들을 참조하여 정규화하는 것도 포함된다.
- <108> 한편, 도 11의 s1104과정은 인접 트랙들에 기록하는 핏수가 상당히 많음에 따라 테스트 시간을 과다하게 소요할 수 있다. 이를 경감하기 위하여 s1104과정은 모든 데이터 존에 대하여 수행하기보다는 ID(Inner Diameter), MD(Middle Diameter), 그리고 OD(Outer Diameter)에서의 대표적인 존들에 대하여 수행되고, 대표 존들에서 얻어진 값을 ID, MD, 그리고 OD의 모든 존들에 대해 동일하게 적용하도록 간략화 될 수 있다. 한편으로는 OSC를 변화시키는 범위도 낮은 범위 내로 한정할 수 있다. 고온 조건에서는 높은 OSC가 사용되지 않으므로 32스텝으로 조정되는 경우 2 - 10스텝 사이에서 변화시킨다.
- <109> 또한, OSC_d는 상온에 적합한 OSC(OSC_2)와 s1106과정에서 얻어지는 최저 BER에 상응하는 OSC의 사이 값으로 설정될 수 있다.
- <110> 도 11에 도시된 본 발명에 따른 기록 전류 최적화 방법은 헤드마다의 상이한 기록성 및 ATE 특성을 갖는 현 상황에서, 각 개별 헤드마다의 기록성 및 ATE 특성을 측정하여 시스템 실린더나 버퍼에 저장하고, 실제 사용자 환경에서는 ATE 특성을 고려하여 헤드의 기록성능을 보장하는 한도에서의 최소 WC 및 OSC를 사용하며, 저온에서는 최저의 BER을 갖는 높은 WC 및 OSC를 사용함으로써 헤드의 기록 성능을 보장하게 된다.
- <111> 도 13은 본 발명에 따른 기록 밀도 설정 방법을 보이는 흐름도이다.

- <112> 본 발명에 따른 기록 밀도 설정 방법에서는 최악의 사용 조건에서 에러율을 검출하고, 검출된 에러율을 소정의 문턱값(Error_c)과 비교하며, 비교 결과에 따라 기록 밀도를 설정하는 것을 특징으로 한다.
- <113> 먼저, OSC 조건을 설정한다.(s1302)
- <114> OSC 조건은 설정할 수 있는 최댓값이 되는 것이 바람직하지만 안전을 고려하여 최댓값 보다 약간 낮은 값 예를 들어 32스텝으로 조정할 수 있는 경우 28스텝 정도로 설정한다.
- <115> 목표 트랙에 소정 횟수(I)만큼 데이터를 기록하고, 목표 트랙에 인접한 트랙들에 소정 횟수(J)만큼 데이터를 기록한다.(S1304)
- <116> 목표 트랙 및 일측 인접 방향으로 3개 트랙들(전체 7개 트랙)들을 소정 횟수(K)만큼 읽어서 에러를 검출한다.(S1306) 목표 트랙에 인접한 양측 3개의 트랙들에 기록하는 이유는 기록 헤드에서의 자기 누설이 폴 사이의 공극에서 발생할 수도 있지만 어떤 헤드의 경우에는 기록 폴 자체에서 발생할 수도 있기 때문이다. 한편으로는 기록 헤드의 스큐(skew)를 고려하는 측면도 있다.
- <117> 여기서, 에러 판단 조건을 낮추어 준다. 예를 들면 ECC조건을 12바이트로 낮추고, 리트라이 횟수도 2회 정도로 낮추어 준다. ECC조건을 12바이트로 낮출 경우 그만큼 에러 정정 능력이 저하된다. 또한, 리트라이 횟수를 2회로 낮추면 그만큼 에러 보정 능력이 저하된다.
- <118> 에러 개수를 계수한다.(s1308)
- <119> 검출된 에러 개수를 소정의 문턱값(Error_c)과 비교한다.(s1310)

<120> s1308과정의 결과 검출된 에러 개수를 소정의 문턱값(Error_c)보다 크면 낮은 TPI 및 낮은 기록 용량으로 설정하고(s1312), 그렇지 않으면 정상적인 TPI 및 정상적인 기록 용량으로 설정한다(S1314). 예를 들어 검출된 에러율을 소정의 문턱값(Error_c)보다 크면 TPI를 낮추어 낮은 저장 용량을 설정하고, 그렇지 않으면 현재의 저장 용량에 맞도록 TPI를 유지하도록 설정한다.

<121> 여기서, I, J, 그리고 K는 품질 요구 조건에 따라 달라질 수 있다.

<122> 또한, 도 13에 도시된 과정에서는 OSC를 변화시키는 것의 예를 들어 설명하였지만 WC나 기타의 다른 조건들을 변화시키는 것도 가능하다.

<123> 도 13에 도시된 과정은 헤드별, 데이터 존별로 수행되며, 그 결과에 따라 디스크의 기록 용량, 데이터 존별 TPI등을 설정할 수 있다.

<124> 도 13에 도시된 과정은 하드디스크 드라이브에 인가할 수 있는 최악의 ATE 테스트 조건에서의 에러율을 측정하고, 그 결과에 따라 TPI 혹은 기록 용량을 설정하는 것임을 알 수 있다.

【발명의 효과】

<125> 상술한 바와 같이 본 발명에 따른 기록 전류 최적화 방법은 사용자 환경에서의 온도 조건에 상응하는 테스트 조건 하에서 TPTP 특성을 조사하고, 최저의 에러율을 보이는 기록 파라미터를 설정함에 의해 최적의 기록 전류 최적화를 달성할 수 있다는 효과를 가진다.

<126> 본 발명에 따른 기록 전류 최적화 방법은 헤드마다의 상이한 기록성 및 ATE 특성을 갖는 현 상황에서, 각 개별 헤드마다의 기록성 및 ATE 특성을 측정하여 시스템 실린더나

버퍼에 저장하고, 실제 사용자 환경에서는 ATE 특성을 고려하여 헤드의 기록성능을 보장하는 한도에서의 최소 WC 및 OSC를 사용하며, 저온에서는 최저의 BER을 갖는 높은 WC 및 OSC를 사용함으로써 헤드의 기록 성능을 보장한다.

<127> 한편, 본 발명에 따른 기록 밀도 최적화 방법은 하드디스크 드라이브에 인가할 수 있는 최악의 ATE 테스트 조건에서의 에러율을 측정하고, 그 결과에 따라 TPI 혹은 기록 용량을 설정함으로써 하드디스크 드라이브의 최저 기록 용량을 보장하게 된다.

【특허청구범위】**【청구항 1】**

하드디스크 드라이브의 동작 온도에 상당하는 테스트 조건 하에서 기록 파라미터를 변화시켜 가면서 에러율을 조사하는 과정;

가장 낮은 에러율을 보이는 기록 파라미터를 선택하는 과정; 및

사용자 환경에서 상기 선택된 기록 파라미터를 사용하여 하드디스크 드라이브의 기록 전류를 최적화하는 과정을 포함하는 기록 전류 최적화 방법.

【청구항 2】

제1항에 있어서,

저온에 상당하는 테스트 조건은 목표 트랙에 소정 횟수만큼 데이터를 기록하고, 목표 트랙을 소정 횟수만큼 읽는 것임을 특징으로 하는 기록 전류 최적화 방법.

【청구항 3】

제1항에 있어서,

상온에 상당하는 테스트 조건은 목표 트랙에 인접한 트랙들에 소정 횟수(N)만큼 데이터를 기록하고, 목표 트랙을 소정 횟수만큼 읽는 것임을 특징으로 하는 기록 전류 최적화 방법.

【청구항 4】

제1항에 있어서,

고온에 상당하는 테스트 조건은 목표 트랙에 인접한 트랙들에 소정 횟수(M, 여기서, $M > N$)만큼 데이터를 기록하고, 목표 트랙을 소정 횟수만큼 읽는 것임을 특징으로 하는 기록 전류 최적화 방법.

【청구항 5】

제4항에 있어서, 고온에 상당하는 테스트 조건은 ID, MD, OD의 대표적인 데이터 존들에 대하여 수행되고, 대표 데이터 존들에서 얻어진 기록 파라미터를 ID, MD, 그리고 OD의 데이터 존들에 동일하게 적용하는 것을 특징으로 하는 기록 전류 최적화 방법.

【청구항 6】

제1항에 있어서, 상기 기록 파라미터는 오버슈트전류(Over Shoot Current)인 것을 특징으로 하는 기록 전류 최적화 방법.

【청구항 7】

제1항에 있어서, 기록 파라미터 vs 에러율을 보이는 그래프를 정규화하는 과정을 더 구비하는 것을 특징으로 하는 기록 전류 최적화 방법.

【청구항 8】

제7항에 있어서, 상기 정규화과정은

가장 낮은 에러율을 보이는 기록 파라미터들이 복수 개 존재할 경우 이들 기록 파라미터들을 평균화한 파라미터를 얻는 것을 특징으로 하는 기록 전류 최적화 방법.

【청구항 9】

제7항에 있어서, 상기 에러율은 BER(Bit Error Rate) 혹은 CSM(인 것을 특징으로 하는 기록 전류 최적화 방법.

【청구항 10】

제7항에 있어서, 상기 헤드 및 데이터 존들에 각각 수행되는 것임을 특징으로 하는 기록 전류 최적화 방법.

【청구항 11】

제10항에 있어서, 상기 기록 파라미터들은 디스크의 시스템 실린더에 기록되는 것임을 특징으로 하는 기록 전류 최적화 방법.

【청구항 12】

소정의 ATE 테스트 조건에서 목표 트랙의 에러 개수를 측정하는 과정;

상기 에러 개수를 소정의 문턱값과 비교하는 과정; 및

상기 에러 개수가 소정의 문턱값을 넘는 경우에는 TPI를 조절하여 기록 밀도를 조정하는 과정을 포함하는 기록 밀도 최적화 방법.

【청구항 13】

제12항에 있어서 상기 테스트 조건은 오버 슈트 전류를 최대값으로 설정하는 것임을 특징으로 하는 기록 밀도 최적화 방법.

【청구항 14】

제13항에 있어서, 상기 목표트랙에 인접한 트랙들에 소정 횟수만큼 데이터를 기록한 후에 목표 트랙을 소정 횟수만큼 읽을 때의 에러 개수를 측정하는 것을 특징으로 하는 기록 밀도 최적화 방법.

【청구항 15】

제13항에 있어서, 상기 목표 트랙에 인접한 트랙들은 적어도 일측 인접방향으로 적어도 1개 이상인 것을 특징으로 하는 기록 밀도 최적화 방법.

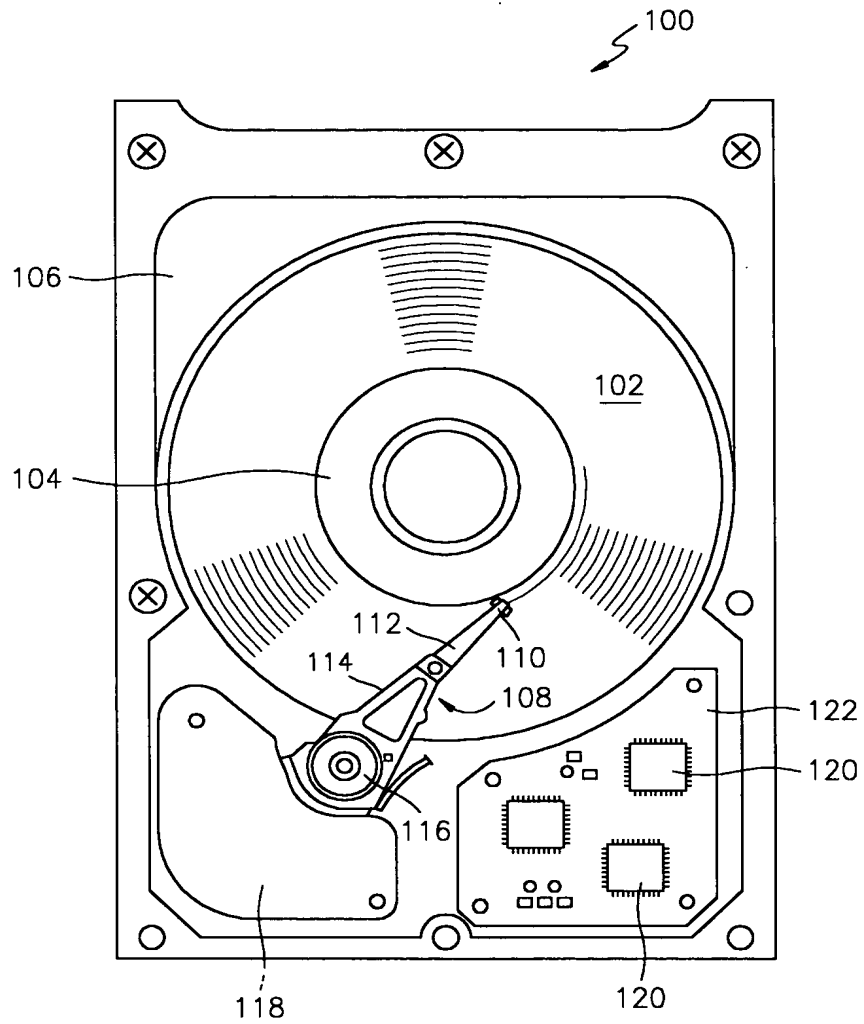
【청구항 16】

제14항에 있어서,

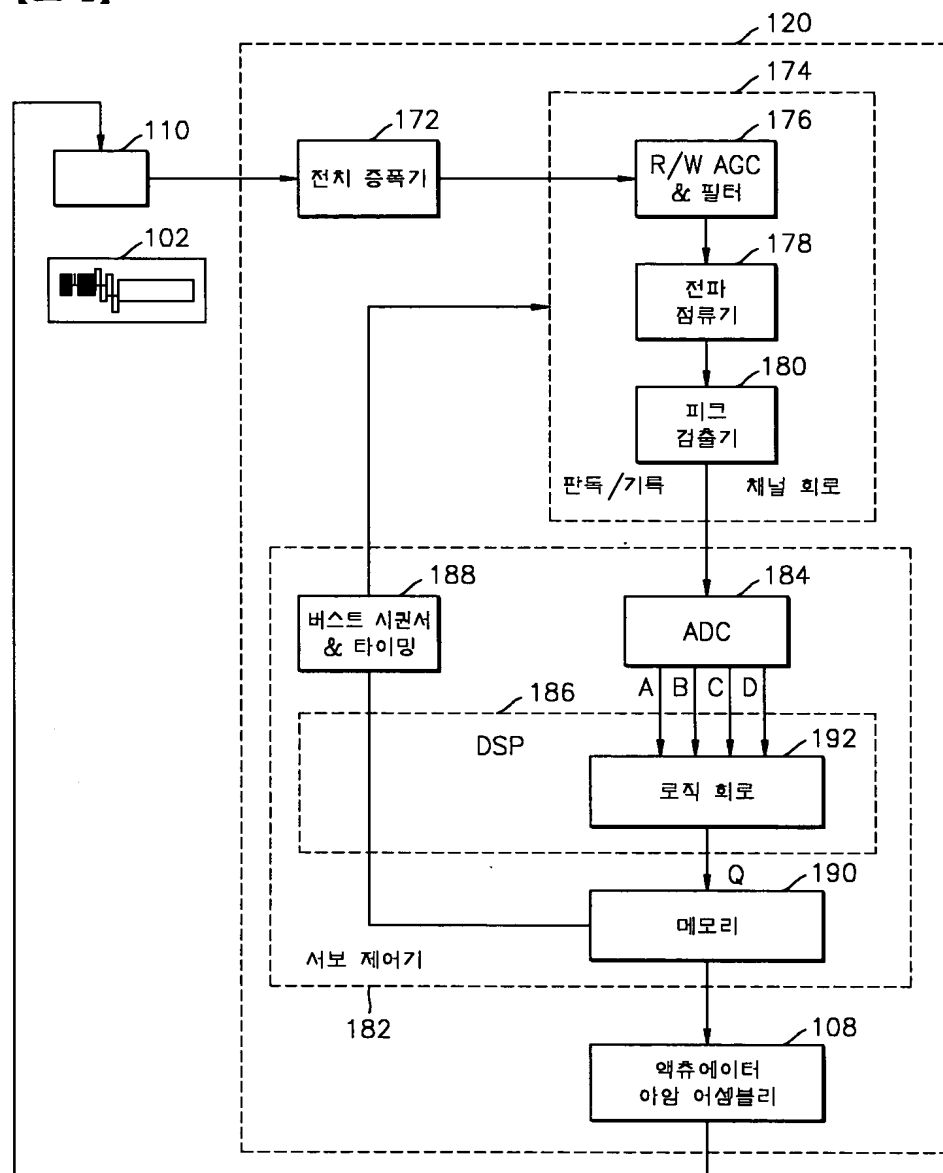
상기 에러 개수는 ECC(Error Correction Code)의 에러 정정 능력을 낮춘 상태에서 측정되는 것임을 특징으로 하는 기록 밀도 최적화 방법.

【도면】

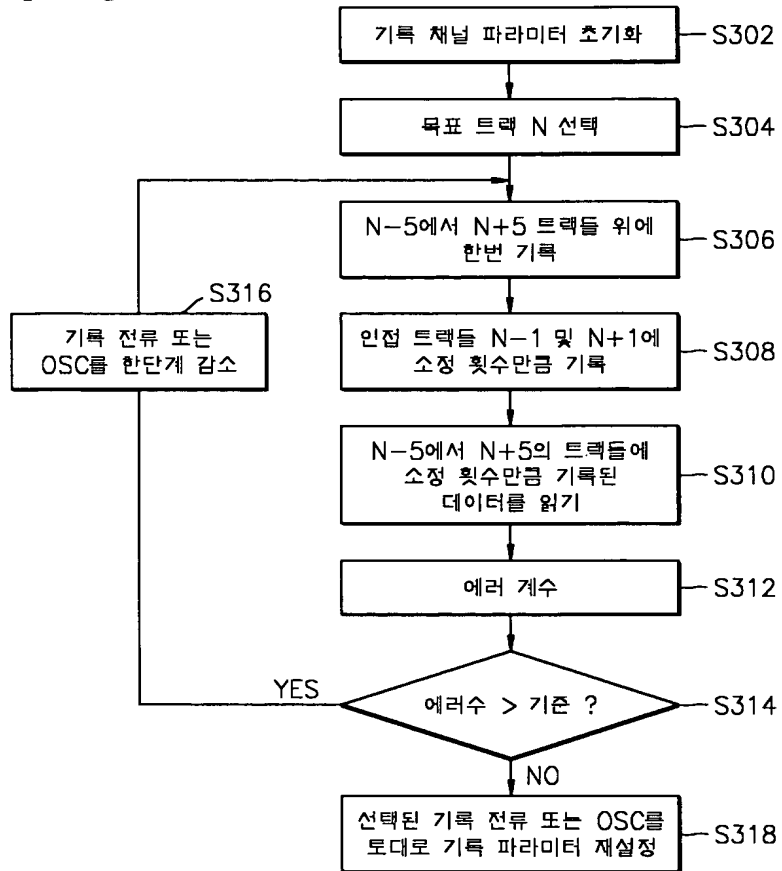
【도 1】



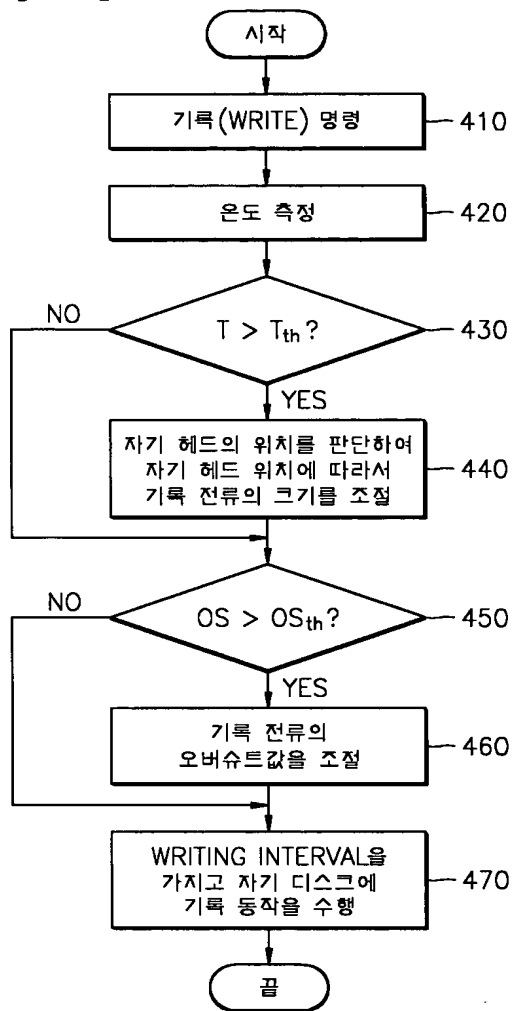
【도 2】



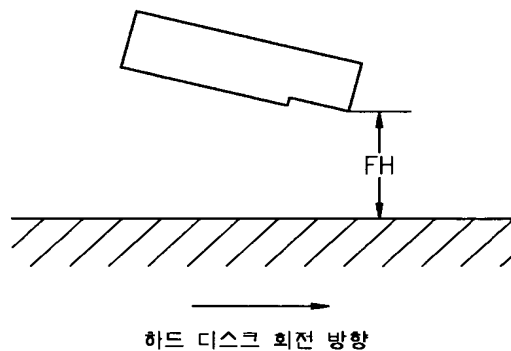
【도 3】



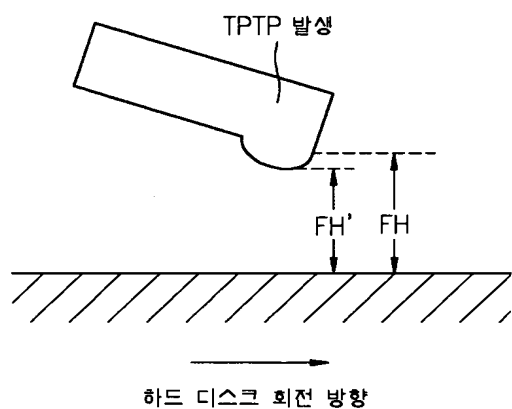
【도 4】



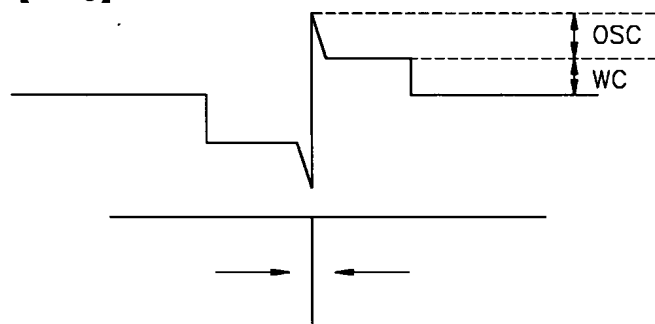
【도 5a】



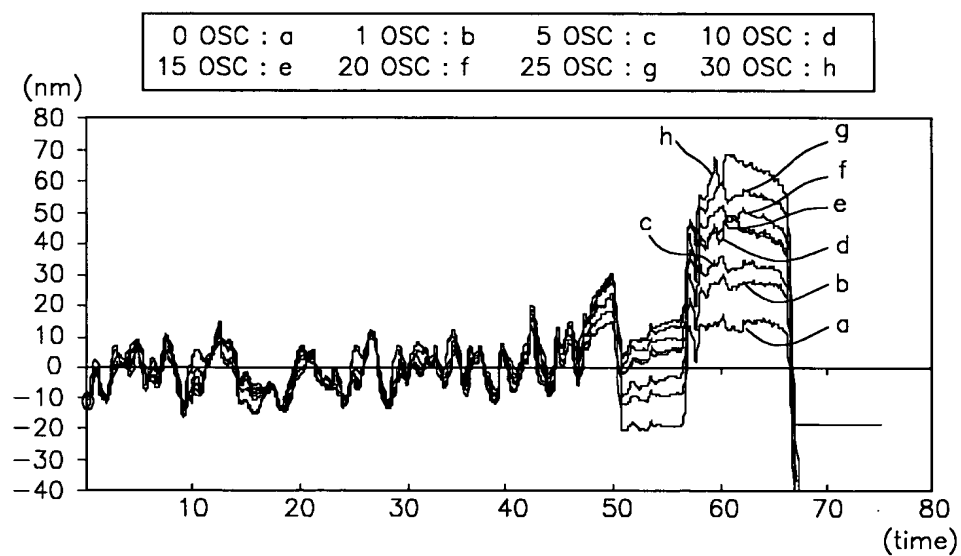
【도 5b】



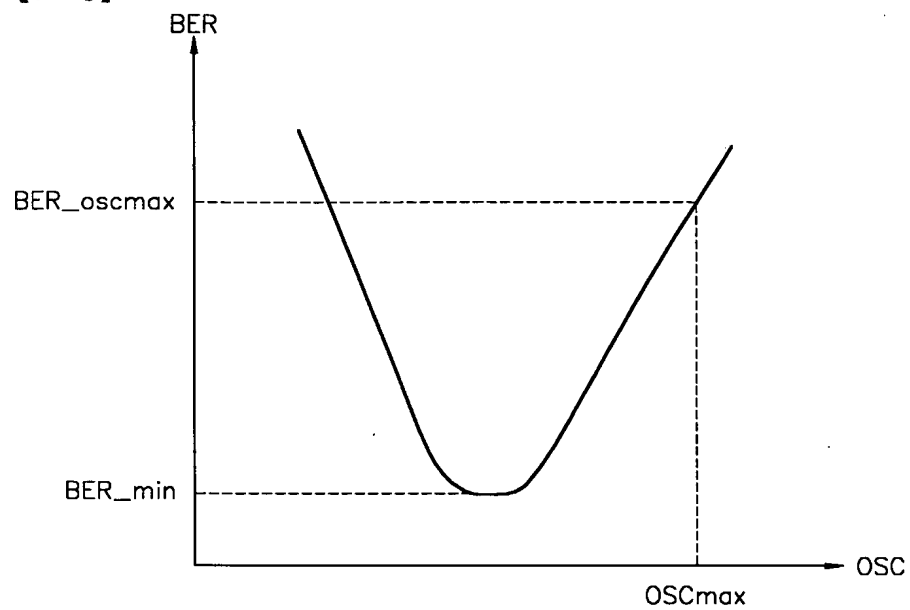
【도 6】



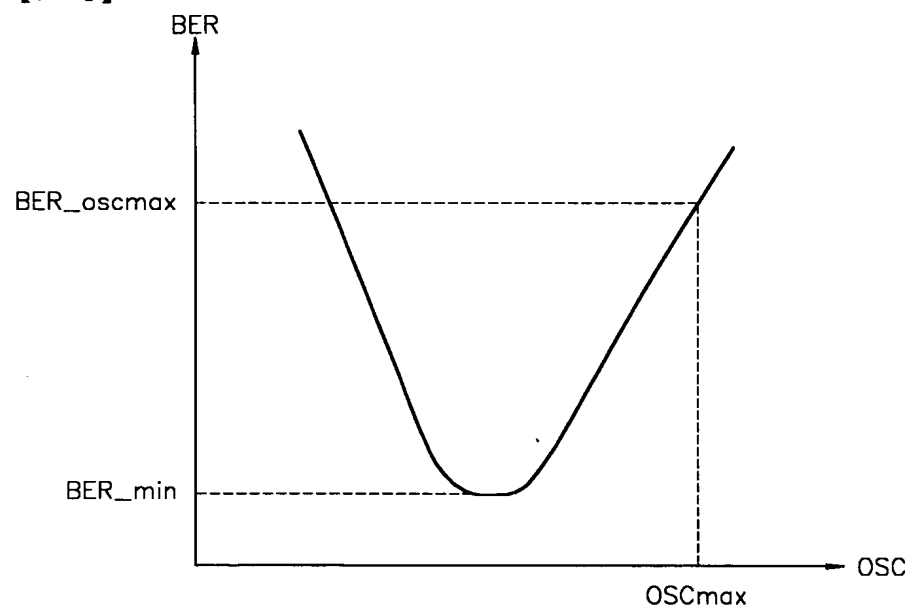
【도 7】

(Freq=265.6MHz, $I_w=40mA$)

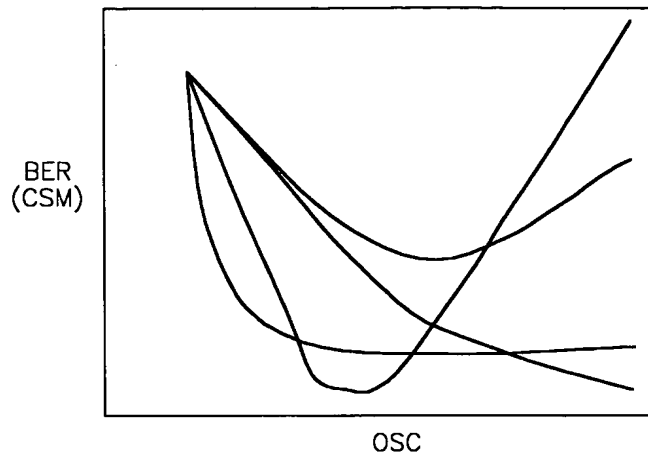
【도 8】



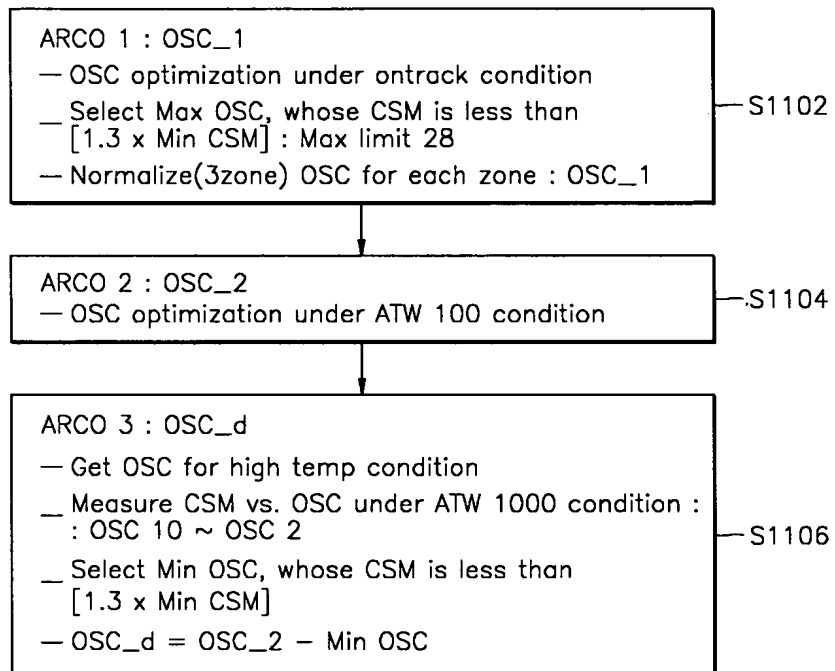
【도 9】



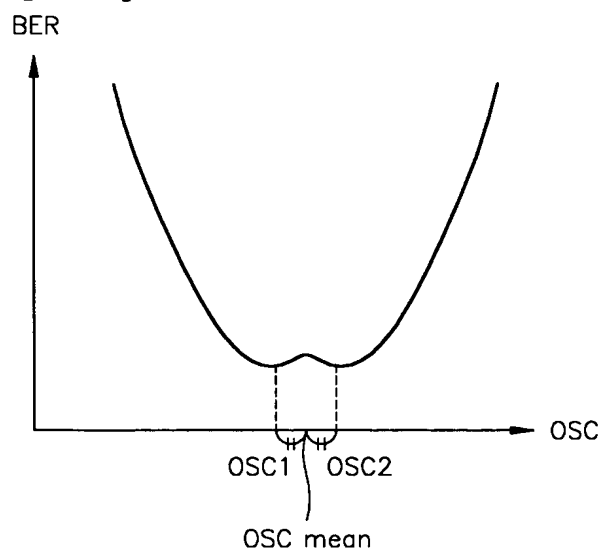
【도 10】



【도 11】



【도 12】



【도 13】

